干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

2000—2017年中国城市绿化水平的时空演变及其影响因素研究[①]

雒占福， 张 金， 刘娅婷， 朱立祥
（西北师范大学地理与环境科学学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要：城市绿化是城市建设的重要内容，是实现城市生态文明、生态宜居的重要途径。选取中国292个地级及以上城市，基于变异系数、泰尔指数、空间自相关和地理探测器等方法，刻画了2000—2017年中国城市绿化水平的时空演变和影响因素。结果表明：(1)2000—2017年中国城市绿化水平呈阶段性波动增长态势，全国城市绿化水平增幅为6.73%，其中西部地区绿化水平增加最为显著，改变了2000—2014年保持的“东—中—西”逐渐递减的绿化格局，形成了由沿海向内陆跃升的绿化格局。(2)2000—2017年中国城市绿化水平的总体差异与东、中、西三大区域的差异均呈降低趋势。从泰尔指数变化趋势来看，总体差异主要由区域内差异引起，且区域内差异与区域间差异在逐渐缩小。(3)东部形成一定规模的稳定性热点区，西部形成局部性热点区与一定规模的稳定性冷点，从而使得我国由“东—中—西”逐渐递减的绿化格局转变为由沿海向内陆跃升的绿化格局更为显著。(4)自然因素是城市绿化水平的基础性影响因素，经济发展水平和政府管理为阶段性关键因子，是促使各时段城市绿化格局演变的动力因子。

关 键 词： 城市绿化水平；时空演变；影响因素；中国
文章编号：

城市绿化空间是城市自然生态系统的主体，是城市居民享受生态服务功能的基本载体[1-2]，在城市发展中起着不可或缺的作用。但在我国快速的城市化进程中，强调生产性与经济性的城市建设往往出现挤占规划绿地或绿化控制区、侵占现有绿地或改变绿地用途等问题，导致城市绿化建设滞后。中共的“十九大”将生态文明建设提升为“千年大计”；中央城市工作会议明确提出了城市发展的持续性、宜居性目标，加快城市绿化建设已成为我国城市可持续发展战略的重要举措，是实现城市生态文明、生态宜居的重要途经。随着我国新型城镇化战略与“绿水青山就是金山银山”理念的实施，城市绿化建设必将迎来新的发展机遇，加之我国自然社会条件区域差异显著，城市绿化水平参差不齐，难以满足生态宜居城市建设需求。因此科学认识城市绿化水平的时空演变过程及其影响因素，对揭示当前城市绿化水平的现状问题，提升生态宜居城市具有积极意义。

国外学者关于城市绿化研究多以城市美学、城市规划学、城市生态学为主，从形成个人审美尺度的装饰性庭园绿化思想，发展到街区尺度的城市公园运动，再到城乡尺度的永久性绿带的田园城市理论，进而发展到1971年联合国教科文组织倡导的生态城市理念[3]。开展了城市绿地的健康[4-6]、美学、生态[6]与城市空间管控等功能研究，以及城市绿地空间分布[7-9]、成因[10]及其影响机制[11]的研究等。国内城市绿化政策随着我国的城市建设进程而不断变化，从1986年提出改善生态环境与植物造景为主的生态园林理念，发展到1990年山水城市理念与1992年《城市绿化条例》制订实施，再到2000年国家园林城市的规范化、标准化和制度化的创建实施[12]，从1992—2017年提出共20批次的生态园林城市、县、镇名单，无不加强了城市绿化对城市生态与城市品质建设的影响。同时，国内学者进行了城

① 收稿日期：2019-05-24； 修订日期：2019-07-27
基金项目：国家自然科学基金项目(41771130)资助
作者简介：雒占福(1975-)，男，甘肃通渭人，博士，副教授，主要从事区域发展与城乡规划工作. E-mail：luozf200@163.com
通讯作者：张金(1994-)，女，甘肃白银人，硕士研究生，主要研究方向为城市生态与城市规划. E-mail：278971304@qq.com

市绿化空间布局的可达性、公平性[13-15]及对城市功能的影响[16]与效应[17]研究,也开展了城市绿化水平的区域差异[18-20]及其影响因素(行政级别[21]、城镇化率[22]、城市用地扩张[23]、产业结构调整[24]等)研究。然而,当前中国城市绿化水平的时空演变格局研究尚存在一些不足之处:(1)在研究单元上,主要以省会城市为研究对象[18,20,22-23],城市尺度的完整分析较少。(2)研究时段上,以截面数据居多,长时间序列的面板数据不足。(3)研究指标上仅限于数量型的"城市绿地率"或"城市绿化覆盖率" 或"人均公共绿地面积"的单一指标,鲜见反映城市绿化水平复杂性与区域性的综合性指标体系[18,20]。因此,本文选择2000—2017年为研究时段,以中国292个地级及以上城市建成区为基本空间单位,建立综合评价指标体系,审视中国城市绿化水平的时序变化、空间格局及其影响因素。

1 研究方法与数据来源

1.1 变异系数

变异系数[25]适合均值差别较大时的离散程度研究,可以较好消除平均值大小对离散程度的影响,以此测度中国城市绿化水平的总体与我国三大区域城市绿化水平的差异程度,计算公式如下:

$$C_v = \frac{1}{\bar{g}}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\frac{(g_i-\bar{g})^2}{(n-1)}} \tag{1}$$

式中:C_v 为变异系数;n 为城市数;g_i 为 i 市的城市绿化水平指数;$\bar{g}$ 为 g_i 的平均值。变异系数越大表示差异越大。

1.2 泰尔指数

泰尔指数[26]用以测度数据分布的差异性或者不均衡,并可分解为组间差异和组内差异,用以识别组内与组间差异对总体差异的贡献程度。测算全国总体泰尔指数和三大区域城市绿化水平的泰尔指数,计算公式如下:

$$T = \left(\frac{1}{N}\right)\sum_{i=1}^{n}\log\left(\frac{\bar{y}}{y_i}\right) \tag{2}$$

$$T_{wr} = \sum_{g=1}^{n} P_g \times T_g \tag{3}$$

$$T_{br} = \sum_{g=1}^{G} P_g \times \log\left(\frac{P_g}{V_g}\right) \tag{4}$$

式中:T_{wr}为组内差异;T_{br}为组间差异;N 为城市数;y_i 为 i 城市的绿化指数;$\bar{y}$ 为全国绿化指数的平均值;P_g 为各组人口占全国人口的比重;V_g 为各组的绿化指数占全国绿化指数的比重;T_g 是第 g 组的泰尔指数。

1.3 空间自相关

空间自相关[27-28]分为全局自相关和局部自相关分析,可以较好的描述中国城市绿化水平的空间关联特征。建立空间权重矩阵,利用全局空间自相关 Moran's I 值判断城市绿化水平的空间集聚程度。利用局部自相关反映城市绿化水平在空间上的异质性,识别热点区(Hot-spots)与冷点区(Cold-spots)的空间分布,计算公式见参考文献。

1.4 地理探测器

地理探测器(Geographical Detector)[29-31]是探测因变量 Y 和自变量 X 空间分异及相互作用的工具。本文主要利用地理探测器的因子探测和交互探测进行城市绿化水平的影响因素分析,因子探测公式如下:

$$P_{D,H} = 1 - \frac{1}{n\sigma^2}\sum_{h=1}^{L} n_h\sigma_h^2 \tag{5}$$

式中:$P_{D,H}$为影响因子 D 对城市绿化水平 H 的解释力;n、σ^2 分别为样本量和方差;n_h、σ_h^2 为 h($h=1,2,\cdots,L$)层样本量和方差。$P_{D,H}$取值范围为[0,1],数值越大说明分类因素对城市绿化水平的解释力越强。

交互探测由以下表达式构成:若 $P(x\cap y) < \min(P(x),P(y))$,说明因子 x 和 y 交互后非线性减弱;若 $\min(P(x),P(y)) < P(x\cap y) < \max(P(x),P(y))$,说明因子 x 和 y 交互后单线性减弱;若 $P(x\cap y) > \max(P(x),P(y))$,说明因子 x 和 y 交互后双线性加强;若 $P(x\cap y) > P(x)+P(y)$,说明因子 x 和 y 交互后非线性加强;若 $P(x\cap y) = P(x)+P(y)$,说明因子 x 和 y 相互独立。

1.5 指标选取和数据来源

衡量城市绿化水平不仅要考虑城市绿地面积占城市建设用地的比例指标,还要考虑绿地公共性(附属绿地或公共绿地)、协调性及其在城市空间的分布特性(均衡性与可达性)。根据现行《城市绿地分类标准》(CJJ/T85 -2017)中规定城市绿地包括公园绿地、防护绿地、附属绿地以及广场用地,本文选择绿地率以体现绿化的综合性与公共性,即为建成区内公园绿地、防护绿地以及广场用地等城市开

放绿地空间所占的比重,不包括附属绿地;绿化覆盖率为城市建成区内所有植被的垂直投影面积的占比,以体现绿化的自然性与地域性;选择人均绿地面积与人均公园绿地面积以反映绿化水平与城市人口的协调性;选择公园绿地比重以反映城市绿化的公共性;选择公园密度以揭示公共绿化空间分布的均衡性,公园数量越多,意味其空间分布相对越合理;选择万人拥有公园数量指标以揭示公共绿化空间的可达性。基于此,本文构建了城市绿化水平的综合评价指标体系(表 1)。

本文以中国地级及以上城市建成区为基本研究单元,不含港澳台。绿地率、绿化覆盖率、绿地面积、公园绿地面积、人均公园绿地面积、公园个数以及城市建成区面积、城区人口等数据均来自 2001—2018 年的《中国城市建设统计年鉴》。部分缺失的数据通过地区官方网站数据进行调整和补充。

本文利用熵权法[32]获得城市绿化水平指标体系的权重值,即以 2000 年、2010 年与 2017 年三期熵权值的平均值为最终权重值。

表 1 城市绿化水平的评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of urban greening level

指标层	单位	计算公式	权重
绿地率	%	建成区绿地面积/建成区面积	0.11
绿化覆盖率	%	建成区绿化覆盖面积/建成区面积	0.07
人均绿地面积	$m^2 \cdot 人^{-1}$	建成区绿地面积/城区人口	0.14
人均公园绿地面积	$m^2 \cdot 人^{-1}$	建成区公园绿地面积/城区人口	0.13
公园绿地比重	%	建成区公园绿地面积/建成区绿地面积	0.08
公园密度	$个 \cdot m^{-2}$	建成区公园个数/建成区面积	0.14
人拥有公园数	$个 \cdot (10^4\ 人)^{-1}$	建成区公园个数/城区人口	0.25

3 结果分析

3.1 中国城市绿化水平的时序演变特征

3.1.1 时序变化特征 本文将中国 292 个地级及以上城市的城市绿化综合指数按总体与东中西三大地带进行算术平均,计算得到全国城市绿化综合指数与东中西三大地带城市绿化综合指数,并绘制 2000—2017 年城市绿化水平的变化趋势图(图 1)。

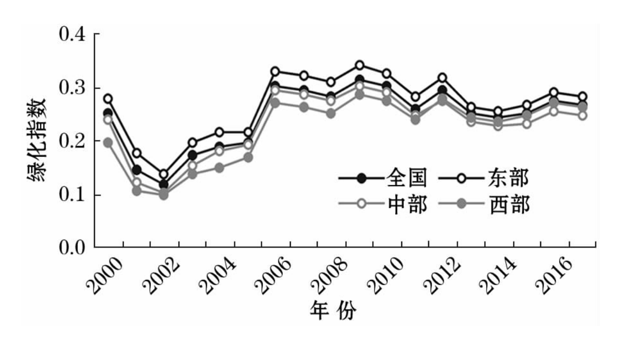


图 1 2000—2017 年中国城市绿化指数变化趋势

Fig. 1 The change trend of the urban greening index in China during 2000 – 2017

(1)2000—2017 年中国城市绿化水平呈波动增长态势。绿化指数从 2000 年的 0.249 增长为 0.266,增幅为 6.73%。中国东部、中部与西部三大地带的绿化指数分别从 2000 年的 0.279、0.238 与 0.197 增长到 2017 年的 0.282、0.247 与 0.263,增幅分别为 0.88%、3.41% 与 33.56%。反映了全国城市绿化水平随着中国城镇化进程而不断提升发展。

(2)2000—2017 年中国城市绿化水平呈现阶段性变化特征。2002 年之前绿化指数呈显著下降态势,由 2000 年的 0.249 降低为 2002 年的 0.117,降幅为 52.95%;2002—2006 年绿化指数呈现波动增长,由 2002 年的 0.145 升高到 2009 年的 0.378,增幅为 30.25%;2006—2012 年绿化指数呈现下降态势,由 2009 年的 0.378 下降到 2014 年的 0.286,降低了 24.34%;2014—2016 年绿化指数开始平稳增长,增长率为 19.76%。究其原因是 2002 年之前由于中国的城镇化水平从 1998 年进入 30.6% 到 2000 年达到 36.22%,以经济与人口增长为主的快速城镇化与相对滞后的城市基础设施建设、城市人居环境建设之间的矛盾凸显出来,为此,2000 年国家启动《创建国家园林城市实施方案》与《国家园林城市标准》以推动城市绿化宜居建设,改善城市环境质量,促进城市可持续发展,其实施效应于 2002 年后显现并不断持续快速增长,基本到 2008 年金融危机之后的 2009 年结束;而 2009—2014 年的绿化指数下降源于金融危机的大规模投资又一次加速了城市空间的快速增长,相对稀释了城市绿化规模,直到 2014 年新常态下新型城镇化要求下,进一步推进生态园林城市与森林城市建设使得城市绿化效果又凸现出来。总体而言,中国城市绿化水平随着国内外条件作用下国家对城市调控节奏而呈现阶段性特征。

3.1.2 *差异趋势的演变特征* 本文分别利用变异系数和泰尔指数测度了中国城市绿化水平的总体差异与东、中、西三大地带的区域差异(图2~图3)。

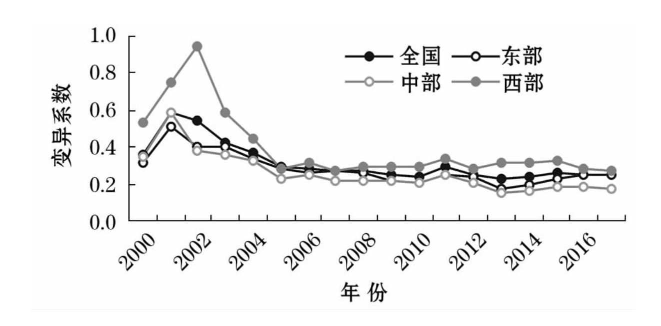


图2 2000—2017年中国城市绿化水平的变异系数

Fig. 2 Coefficient variation of the urban greening level in China in 2000－2017

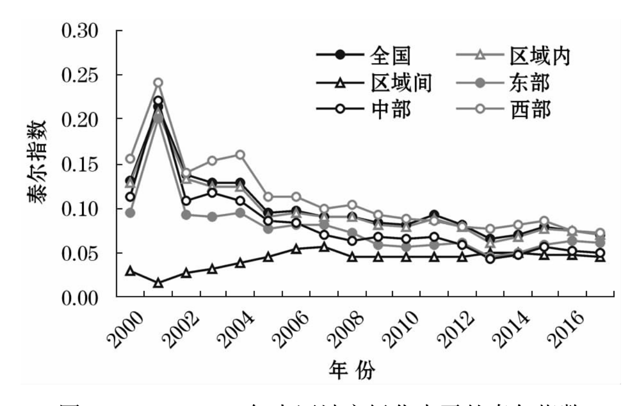


图3 2000—2017年中国城市绿化水平的泰尔指数

Fig. 3 Thile index of the urban greening level in China in 2000－2017

(1)2000—2017年中国城市间绿化水平差异显著,差异缩小趋势明显。从变异系数的测算结果看,中国城市绿化水平的变异系数从2000年的0.354下降为2017年的0.256,降幅达30.67%,东部、中部与西部城市绿化水平的变异系数分别从2000年的0257、0.324、0.499下降到2017年的0.245、0.171与0.275,降幅分别为22.45%、50.31%与47.95%。其中,西部地区城市绿化水平的变异系数始终大于中部与东部,2000—2002年中部城市绿化水平的变异系数大于东部,2003—2017年东部城市绿化水平的变异系数大于中部地区,东、中、西变异系数的差距从2000年的0.175下降到2017年的0.029。总体来看,虽然城市个体之间绿化水平差异较大,但东、中、西三大地带城市绿化水平的差距在不断缩小。

(2)2000—2017年中国城市绿化水平的区域内差异大于区域间差异。从泰尔指数的测算结果看,全国泰尔指数除了从2000年的0.132上升到2001年的0.214之后,一直处于下降趋势,2017年仅为0.071,降幅为46.21%。同时,三大地区城市绿化水平的泰尔指数也呈现下降趋势,东部、中部与西部城市绿化水平的泰尔指数分别从2001年的0.118、0.117、0.165下降到2017年的0.067、0.064与0.82,降幅分别为64.98%、69.91%与66.75%。区域内差异与区域间差异对总体差异的贡献度分别从2000年的80.75%和19.25%变化为2017年的61.11%和38.89%,反映了区域内差异是总体差异的主要贡献者,并且区域内与区域间差异之间的差距在逐渐缩小。

3.2 中国城市绿化水平的空间演变特征

3.2.1 *空间分布演变特征* 本文基于2000—2017年的中国城市绿化指数,将我国292个地级及以上城市绿化水平按照自然断点法划分为高水平、较高水平、中等水平、较低水平和低水平5个等级,并分类统计(表2)。

(1)2000—2017年中国城市绿化水平的等级提

表2 中国城市绿化水平的空间分布

Tab. 2 Spatial distribution of the urban greening level in China

等级	2000年	2010年	2017年
高绿化水平	邢台、南阳	承德、衢州、上饶、深圳、东莞、雅安、昆明、拉萨、日喀则	珠海、佛山、丽江、晋城、鄂尔多斯、衢州、莱芜、张掖、乌兰察布、吐鲁番等
较高绿化水平	承德、廊坊、扬州、杭州、宁波、厦门、珠海、佛山、河源、东莞等	秦皇岛、苏州、扬州、杭州、威海、中山、三亚、石嘴山、克拉玛依等	承德、石家庄、威海、扬州、福州、广州、金昌、武威、嘉峪关、固原等
中等绿化水平	北京、天津、唐山、秦皇岛、南京、苏州、青岛、烟台、郑州等	北京、石家庄、唐山、沈阳、大连、无锡、合肥、烟台、成都、中卫等	北京、唐山、秦皇岛、呼和浩特、南京、无锡、杭州、厦门、南昌、西宁等
较低绿化水平	衡水、赤峰、长春、牡丹江、无锡、徐州、连云港、昆明、西安等	天津、太原、吉林、哈尔滨、贵阳、西安、天水、西宁、固原、哈密等	天津、太原、沈阳、长春、武汉、郑州、南宁、西安、白银、乌鲁木齐等
低绿化水平	大同、呼和浩特、包头、沈阳、铜川、宝鸡、兰州、西宁、乌鲁木齐等	乌鲁木齐、兰州、白银、开封、洛阳、六盘水、遵义、榆林、临沧、毕节等	吉林、哈尔滨、绥化、长沙、来宾、铜仁、曲靖、兰州、庆阳等

升显著。高水平、较高水平、中等水平、较低水平和低水平城市数量分别由 2000 年的 2、30、61、80 与 111 个发展到 2010 年的 9、45、103、108 与 27 个,再到 2017 年的 12、54、88、121 与 17 个。与 2000 年相比,2017 年高绿化水平城市数量大幅增加,较高与中等绿化水平城市数量分别增加了 75.07% 与 40.31%,较低绿化水平城市数量增加了 47.11%,低绿化水平城市数量减少了 85.10%,其中低绿化水平城市主要向较低和中等绿化水平转移。从而使得全国中等及其以上绿化水平的城市数量占比由 2000 年的 32.75% 提升到 2017 年的 52.74%,东、中、西三大区域的中等及其以上绿化水平的城市数量占各区域城市数量的比重由 2000 年的 58.24%、30.38%、19.28% 上升到 2010 年的 71.54%、50.00%、32.22%,再到 2017 年的 70.16%、33.75%、44.44%。不仅如此,在东、中、西城市绿化水平整体提升过程中,从 2015 年开始,中国城市绿化水平的“东—中—西”递减格局演变为“东—西—中”的递减格局。

(2)2000—2017 年中国城市绿化水平提升与下降共存,递次转移与跨越转移共存。2000—2017 年全国有 211 个城市绿化水平发生了变化,其中 166 个城市绿化水平提升,45 个城市绿化水平下降,分别占总城市数的 56.85% 与 15.41%。2000—2010 年全国有 161 个城市绿化水平发生了提升变化,35 个城市绿化水平发生了下降变化,分别占总城市数的 55.14% 与 11.99%,其中越级式提升城市有 60 个,占总提升城市的 37.27%;期间东部、中部与西部绿化水平提升的城市数分别为 69、40 与 52 个,分别占三大地区城市总数的 56.56%、50.00% 与 57.78%,而绿化水平发生下降的城市数量分别仅占各自城市总数的 9.02%、13.75% 与 15.56%。2010—2017 年全国有 138 个城市绿化水平发生了变化,其中 72 个城市绿化水平提升,66 个城市绿化水平下降,分别占总城市数的 24.66% 与 22.60%,其中越级式提升的城市占总提升城市的 19.44%,跨越式降级的城市占等级下降城市的 3.03%,期间东部、中部与西部绿化水平提升的城市分别占三大地区城市总数的 21.31%、13.75% 与 38.89%,西部地区绿化水平提升最为显著。

(3)2000—2017 年城市绿化水平的空间分布变化较大。2000—2010 年高与较高绿化水平城市大幅增长,主要分布在东部沿海的长三角、京津冀、珠三角等城市群地区,主要为深圳、东莞、上海、苏州、秦皇岛、承德等城市,西部的昆明、拉萨、雅安、日喀则也跻身较高等级绿化水平城市;中等绿化水平城市不仅在长三角、京津冀、珠三角地区较快增长,而且在成渝、东北、海峡西岸地区也较快增长,主要为重庆、成都、石家庄、鹤壁、沈阳、潍坊、株洲、抚州等城市,西部的呼和浩特、银川、中卫也进入中等绿化水平城市;中西部地区的低绿化水平城市大幅度减少。2010—2017 年高与较高绿化水平城市稳中有增,即 2010 年奠定的绿化格局基本稳定,西部地区增长明显,鄂尔多斯、乌兰察布、中卫、张掖、嘉峪关、

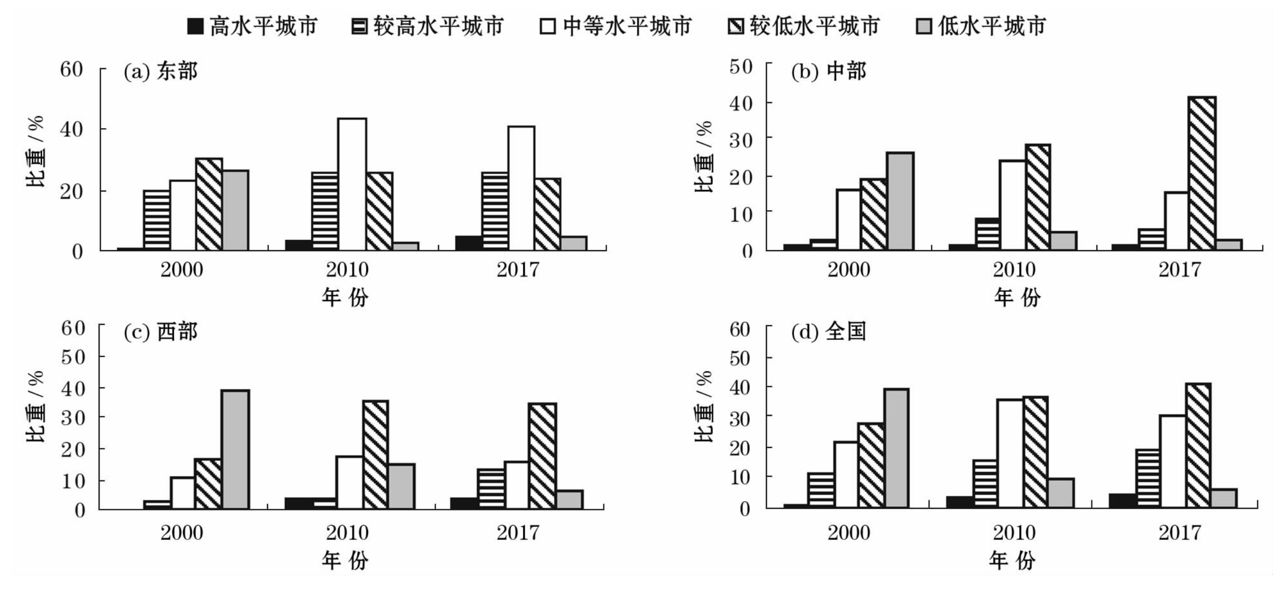


图 4 中国三大区域各绿化水平的城市数量占比

Fig. 4 Proportion of cities with greening levels in China's three major regions

吐鲁番、丽江和临沧等跻身较高绿化水平城市，低绿化水平城市大幅缩减。总体来看，高绿化水平城市主要分布在东部沿海的城市群区域，而低绿化水平区域在空间分布上基本与我国高原山区的格局较吻合。

3.2.2 空间集聚演变特征 利用 Geoda 软件生成 292 个城市的空间距离权重矩阵，运用 ArcGIS 10.2 进行全局空间自相关与局部空间自相关分析，得到 Moran's *I* 值与反映局部空间相关性的冷热点城市统计。结果表明：

（1）2000—2017 年中国城市绿化水平在空间分布上具有正相关的聚集特征。图 5 可以看出中国城市绿化水平的 Moran's *I* 值在 2000 年、2010 年、2017 年分别为 0.23、0.24 与 0.23，*Z* 值均大于 2.58 这个临界值，*P* 值均小于 0.01，置信水平大于 99%，说明城市绿化水平的空间分布仅有小于 1% 的可能是随机的。从 Moran's *I* 值的变化来看，2000—2017 年 Moran's *I* 值均大于零且幅度变化较小，说明中国城市绿化水平在空间分布上具有正相关的聚集特征，同时城市绿化水平的空间关系逐渐趋于稳定。

（2）2000—2017 年中国城市绿化水平的热点区相对稳定，冷点区呈扩张态势。2000—2010 年中国城市绿化水平的热点区基本稳定，其城市数量占比保持在 10% 左右，次热区从 38.01% 收缩至 29.45%，部分转化到次冷区与冷点区，使得次冷区从 28.08% 扩张至 35.96%，冷点区从 23.63% 增至 24.32%；2010—2017 年热点区由东部为主，扩张到西部部分城市，城市数量有所缩减，但次冷区从 35.96% 收缩至 31.85%，部分转化到次热区与冷点区，使得次热区从 29.45% 扩张至 32.53%，冷点区从 24.32% 扩张至 26.37%。两个时段内稳定性热点城市主要为深圳、中山、东莞等，稳定性冷点城市主要为重庆、来宾、定西、延安等西部内陆城市以及东北地区的呼伦贝尔、松原、白山等城市（表 3）。

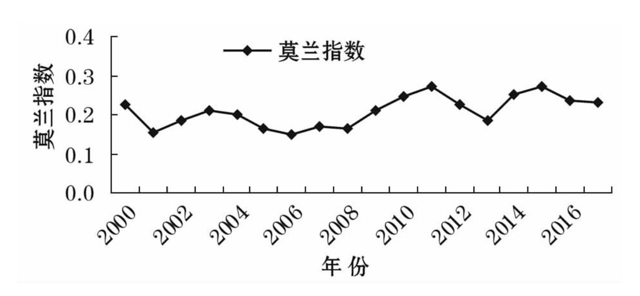


图 5 2000—2017 中国城市绿化水平的 Moran's *I* 指数变化图

Fig. 5 Moran's *I* index of the urban greening level in China in 2000－2017

表 3 中国城市绿化水平的空间关系

Tab. 3 Spatial-dynamics of the urban greening level in China

空间关系类型	2000 年	2010 年	2017 年
热点区	杭州、绍兴、福州、厦门、怀化、娄底、广州、深圳、东莞、河源等	杭州、绍兴、舟山、南平、怀化、娄底、广州、深圳、珠海、河源等	九江、怀化、娄底、广州、深圳、固原、中卫、克拉玛依、吐鲁番等
次热区	北京、天津、上海、南京、无锡、苏州、宁波、合肥、武汉、南宁等	北京、天津、上海、烟台、南京、宁波、合肥、福州、南宁、西安等	北京、天津、呼和浩特、上海、南京、无锡、福州、济南、金昌、西宁等
次冷区	石家庄、廊坊、鞍山、南昌、三门峡、湘潭、洛阳、拉萨、西安、张掖等	石家庄、沈阳、长春、台州、南昌、武汉、张家界、贵港、嘉峪关、固原等	石家庄、太原、长春、合肥、开封、黄冈、贵港、西安、张掖、哈密等
冷点区	大同、沈阳、哈尔滨、鹤岗、咸阳、金昌、定西、银川、固原、乌鲁木齐等	吕梁、鞍山、吉林、郑州、长沙、成都、拉萨、兰州、西宁、乌鲁木齐等	晋城、吕梁、呼伦贝尔、郑州、武汉、成都、日喀则、兰州、乌鲁木齐等

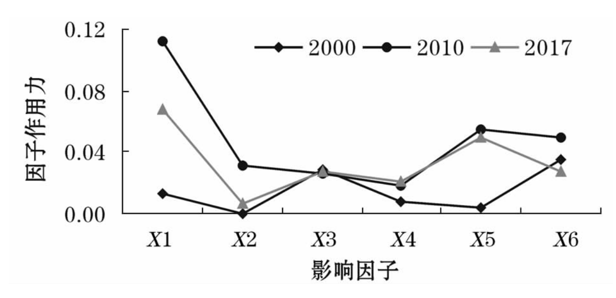
（3）2000—2017 年中国三大区域的热点区与冷点区集聚差异显著。东部地区热点城市数量占全国总热点城市比重在 2000 年、2010 年和 2017 年分别为 83.33%、73.33% 与 62.96%，虽然东部热点区在空间集聚上呈收缩态势，但仍然高于中西部地区，稳定性热点区主要分布在珠三角城市群，稳定性冷点区主要为东北与滇中地区；中部地区的热点区扩张幅度较小，次热区处于不断收缩状态，次冷区和冷点区扩张明显，稳定性冷点为吕梁地区；西部地区热点城市比重在 2000 年、2010 年和 2017 年分别为 3.33%、0% 与 18.52%，哈密、乌鲁木齐、克拉玛依、吐鲁番和日喀则市增加为热点城市，而冷点区呈持续收缩状态，冷点城市比重在 2000 年、2010 年和 2017 年分别为 55.07%、60.56%、37.66%，稳定性冷点区城市为昭通、来宾、崇左、中卫等城市。

3.3 中国城市绿化水平的影响因素分析

3.3.1 影响因素选择 根据已有研究，城市绿化水平的影响因子主要分为三类：自然因素[18,33]、社会经济发展水平[19－20]和政府管理[18,20]。本文选取年均降水量（*X*1）和海拔（*X*2）代表自然因素，选取城镇化率（*X*3）、第三产业占国民生产总值的比重

(X4)和人均 GDP(X5)代表社会经济发展水平,选取园林绿化投资额(X6)代表政府管理。其中海拔数据来自中国 DEM 数字高程数据;年均降水量数据来自国家气象信息中心地面站点观测数据(无站点城市采用直线距离最近的站点数据);城镇化率、人均地区生产总值、第三产业生产值数据来自《中国城市统计年鉴》;园林绿化投资额数据来自《中国城市建设统计年鉴》。

3.3.2 影响因素分析 本文运用地理探测器(Geographical Detector)以城市绿化水平为因变量(Y),对自变量(X)进行因子探测和交互探测分析,结果如下(图 6):



注:X1 为年平均降水量;X2 为海拔;X3 为城镇化水平;X4 为第三产业占国民生产总值的比重;X5 为社会经济发展水平;X6 为园林绿化投资额

图 6 中国城市绿化水平的影响因素

Fig. 6 The influence factor of the urban greening level in China

(1)因子探测结果表明,2000 年中国城市绿化水平的主要影响因子为园林绿化投资、城镇化水平和年均降水量,其因子作用比重分别为 39.23%、32.50% 和 14.75%;2010 年城市绿化水平的主要影响因子为年均降水量、人均 GDP 以及园林绿化投资,其因子作用比重分别为 38.60%、18.67% 和 16.99%;2017 年城市绿化水平的主要影响因子为年均降水量、城镇化水平以及第三产业占比,其因子作用比重分别为 33.96%、23.96% 和 10.28%。可以看出,年均降水量对城市绿化水平的影响是长期的持续的,城镇化水平、人均 GDP、第三产业占比和园林绿化投资的作用力则发挥着阶段性作用。

(2)各影响因子间交互作用大于单因子作用力。根据交互探测发现城市绿化水平的影响因子之间绝大都存在非线性增强关系,少部分为双线性增强关系,说明因子间交互作用明显大于单因子作用力,其中 2000 年第三产业占比与年均降水量因子交互作用最大为 0.12,2010 年园林绿化投资额与年均降水量因子交互作用最大为 0.22,2017 年人均 GDP 与年均降水量因子交互作用最大为 0.15。可以看出,年均降水量与其他因子交互作用对城市绿化水平的影响大于其余因子交互作用结合的影响力,表明自然因素对城市绿化水平的影响是基础性的。

(3)从各时段的影响因子变化来看,自然因素中的年均降水量始终是主要的基础性影响因子,而经济发展水平和政府管理因素存在阶段性变化。在 2000 年,我国的城市建设突出的表现为重经济增长而轻品质建设,城市绿化建设相对滞后,城镇化质量不足,随后国家提出《创建国家园林城市实施方案》与《国家园林城市标准》等,推动了城市绿地建设;到 2010 年,当各地城市政府重视城市绿地建设时,其绿化建设能力又受制于地区经济发展水平,以人均 GDP 与园林绿化投资额为代表的城市绿化竞争力成为影响绿化水平的重要因素;到 2017 年,城镇化水平以及第三产业占比成为主要影响因子,表明以地域集聚的城市群与以第三产业不断超越第二产业的城市产业结构调整成为当前提升城市可持续竞争力的主要途径,也因而成为当前城市绿化建设的影响因子。总体来看,自然因素奠定了 2010—2017 年由东到西逐渐递减的城市绿化基本格局,社会经济和政府管理是促使各时段城市绿化水平空间演变的动力因子,且该动力作用与我国经济社会的发展阶段息息相关。

4 结 论

本文在中国城市绿化水平综合评价基础上,利用变异系数和泰尔指数测度了绿化水平的区域差异、利用空间自相关和局部空间自相关分析了城市绿化水平的空间关系,利用地理探测器进行了影响因素分析,结论如下:

(1)2000—2017 年中国城市绿化水平呈现阶段性波动增长态势,全国城市绿化指数从 0.249 增长为 0.266,增幅为 6.73%。东、中、西三大区域的城市绿化指数增幅分别为 0.88%、3.41% 与 33.56%,其中西部地区绿化指数增长最为显著。

(2)2000—2017 年中国城市间绿化水平差异明显下降,变异系数与泰尔指数的差异降幅分别达 30.67% 与 66.83%,且区域内差异是总体差异的主要贡献者。三大区域变异系数降幅分别为22.45%、50.31% 与 47.95%,泰尔指数降幅分别为 64.98%、

69.91%与66.75%，虽然西部地区差异始终大于中部及东部，但区域间差异在不断下降。

(3)2000—2017年全国有56.85%的城市绿化水平发生了提升变化，15.41%的城市绿化水平发生了降级变化，我国城市绿化水平以等级提升为主，东部、中部、西部城市绿化水平变化差异较大，且西部地区绿化水平提升最为显著。

(4)2000—2017年中国城市绿化的中等及以上绿化水平的城市集中分布在东部沿海地区，基本与我国城市群的分布格局相吻合，而较低与低绿化水平城市集中分布在中部与西部地区，基本与我国山地高原的空间分布格局相吻合。2000—2014年保持的"东—中—西"逐渐递减的绿化格局，在2015年被打破，西部地区绿化指数反超中部，在空间上形成由沿海向内陆跃升的绿化格局。

(5)2000—2017年中国城市绿化水平的Moran's *I*值均大于零且幅度变化较小，说明中国城市绿化水平在空间分布上具有正相关的聚集特征，并且空间关系较为稳定。而局部空间相关性分析则反映出中国城市绿化水平的热点区逐渐收缩，而冷点区逐渐扩张，并形成了一定的稳定性分布格局。在东部形成一定规模的稳定性热点区，西部形成局部性热点区与一定规模的稳定性冷点区。

(6)自然因素、社会经济发展水平和政府管理是中国城市绿化水平的主要影响因子，其中以自然降水为代表的自然因素是基础性影响因子，奠定了2010—2017年中国城市绿化水平由东到西逐渐递减的基本格局，以城镇化率、第三产业占国民生产总值的比重、人均GDP与园林绿化投资额为代表的社会经济和政府管理因素是阶段性关键因子，是促使各时段城市绿化水平空间演变的动力因子，且该动力作用与我国经济社会的发展阶段息息相关。

本文研究结果与伍伯妍、叶骏骅等[19-20]的研究结果"我国城市建成区绿化水平从东部沿海向西部内陆呈阶梯状递减的分布特征"结论基本一致，虽然2015年之后城市绿化格局出现新的变化，但也表明我国从20世纪末实行的山水城市理念、制订的《城市绿化条例》，到21世纪初国家园林城市建设等关于城市绿化建设的规范化、标准化和制度化等一系列城市生态环境建设政策的实施效果明显，反映以城市绿化为代表的城市人居环境建设是实施新型城镇化战略与"绿水青山就是金山银山"理念的重要举措，是推动城市生态环境质量、城市宜居性与可持续性建设的重要途经。

参考文献(References)

[1] 李锋，王如松. 城市绿色空间生态服务功能研究进展[J]. 应用生态学报，2004，15(3)：527-531. [LI Feng, WANG Rusong. Research advance in ecosystem service of urban green space[J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2004，15(3)：527-531.]

[2] 荣冰凌，陈春娣，邓红兵. 城市绿色空间综合评价指标体系构建及应用[J]. 城市环境与城市生态，2009，22(1)：33-37. [RONG Bingling, CHEN Chundi, DENG Hongbing. Establishment and application of integrated evaluation index system of urban green space[J]. Urban Environment & Urban Ecology，2009，22(1)：33-37.]

[3] 黄肇义，杨东援. 国内外生态城市理论研究综述[J]. 城市规划，2001，(1)：58-66. [HUANG Zhaoyi, YANG Dongyuan. Theoretical approach of the ecological city[J]. City Planning Review，2001，(1)：58-66.]

[4] GRAHN P, STIGSDOTTER U K. The relation between perceived sensory dimensions of urban green space and stress restoration[J]. Landscape and Urban Planning，2009，94(3)：264-275.

[5] LEE A C K, MAHESWARAN R. The health benefits of urban green spaces：A review of the evidence[J]. Journal of Public Health，2010，33(2)：212-222.

[6] WHITE M P, ALCOCK I, WHEELER B W, et al. Would you be happier living in a greener urban area? A fixed-effects analysis of panel data[J]. Psychological Science，2013，24(6)：920-928.

[7] ALCOCK I, WHITE M P, WHEELER B W, et al. Longitudinal effects on mental health of moving to greener and less green urban areas[J]. Environmental Science & Technology，2014，48(2)：1247-1255.

[8] WOLCH J R, BYRNE J A, NEWELL J P. Urban green space, public health, and environmental justice：The challenge of making cities 'just green enough'[J]. Landscape and Urban Planning，2014，125(5)：234-244.

[9] NURBAYA A, ZAIN A F M, DJAKAPERMANA R D. Study of distribution and slope aspect approach to increase public green open space on special capital region of Jakarta using high resolution imagery[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences，2016，227(6)：574-582.

[10] XU C, HAASE D, PRIBADI D O, et al. Spatial variation of green space equity and its relation with urban dynamics：A case study in the region of Munich[J]. Ecological Indicators，2018，93(7)：512-523.

[11] RICHARDS D R, PASSY P, OH R R Y. Impacts of population density and wealth on the quantity and structure of urban green space in tropical Southeast Asia[J]. Landscape and Urban Planning，2017，157(1)：553-560.

[12] 王雁. 我国城市绿化理念探索的回顾与发展趋势[J]. 浙江林

学院学报,2003,20(3):315 – 320.[WANG Yan. Review and development trend of urban greening concept exploration in China[J]. Journal of Zhejiang A & F University,2003,20(3):315 – 320.]

[13] 孙振如,尹海伟,孔繁花. 不同计算方法下的公园可达性研究[J]. 中国人口·资源与环境,2012,22(S1):162 – 165.[SUN Zhenru,YIN Haiwei,KONG Fanhua. Study on different calculation methods of park accessibility[J]. China Population,Resources and Environment,2012,22(S1):162 – 165.]

[14] 尹海伟,孔繁花,宗跃光. 城市绿地可达性与公平性评价[J]. 生态学报,2008,28(7):3375 – 3383.[YIN Haiwei,KONG Fanhua,ZONG Yueguang. Accessibility and equity assessment on urban green space[J]. Acta Ecologica Sinica,2008,28(7):3375 – 3383.]

[15] 尹海伟,徐建刚. 上海公园空间可达性与公平性分析[J]. 城市发展研究,2009,16(6):71 – 76.[YIN Haiwei,XU Jiangang. Spatial accessibility and equity of parks in Shanghai[J]. Urban Development Studies,2009,16(6):71 – 76.]

[16] 邵大伟,吴殿鸣,刘志强. 绿地与居住用地演进的空间相关性研究——以南京主城区为例[J]. 中国园林,2017,33(12):64 – 69.[SHAO Dawei,WU Dianming,LIU Zhiqiang. Spatial correlation of green space and residential land evolution in the central city of Nanjing[J]. Chinese Landscape Architecture,2017,33(12):64 – 69.]

[17] 胡忠秀,周忠学. 西安市绿地生态系统服务功能测算及其空间格局研究[J]. 干旱区地理,2013,36(3):553 – 561.[HU Zhongxiu,ZHOU Zhongxue. Ecosystem services evaluation and its spatial pattern analysis of urban green land in Xi'an City[J]. Arid Land Geography,2013,36(3):553 – 561.]

[18] 韩旭,唐永琼,陈烈. 我国城市绿地建设水平的区域差异研究[J]. 规划师,2008,(7):96 – 101.[HAN Xu,TANG Yongqiong,CHEN Lie. Regional difference in urban green space in China[J]. Planners,2008,(7):96 – 101.]

[19] 伍伯妍,钟全林,程栋梁,等. 中国城市绿地空间分布特征及其影响因素研究[J]. 沈阳大学学报(社会科学版),2012,14(2):13 – 16.[WU Boyan,ZHONG Quanlin,CHENG Dongliang,et al. Research on spatial distribution characteristics and its influencing factors of the city green space in China[J]. Journal of Shenyang University(Social Science),2012,14(2):13 – 16.]

[20] 叶骏骅. 我国城市绿化建设水平的区域差异及影响因素研究[J]. 生产力研究,2013,(6):94 – 96.[YE Junhua. Regional differences and influencing factors of urban greening construction level in China[J]. Productivity Research,2013,(6):94 – 96.]

[21] 徐骅. 我国不同行政级别城市的建成区绿地率差异实证研究[D]. 苏州:苏州科技大学,2016.[XU Hua. Empirical analysis on differences of urban green gate between different administrative levels of cities in China[D]. Suzhou:Suzhou University of Science and Technology,2016.]

[22] 刘志强,刘晔,洪亘伟. 我国建成区绿化覆盖率与城镇化率的关系研究[J]. 生态经济,2017,33(6):205 – 211.[LIU Zhiqiang,LIU Ye,HONG Genwei. Research on the relationship between green coverage rate of built district and urbanization rate in China[J]. Ecological Economy,2017,33(6):205 – 211.]

[23] 尤仪霖,刘志强,林存晖,等. 我国土地城镇化对建成区绿地率的影响分析——基于 1996—2013 年省际数据[J]. 城市发展研究,2017,24(1):143 – 147,152.[YOU Yilin,LIU Zhiqiang,LIN Cunhui,et al. The impact analysis of the land urbanization to green space rate of built district in China:Based on the time series data and the provincial panel data from 1996 to 2013[J]. Urban Development Studies,2017,24(1):143 – 147,152.]

[24] 王俊帝. 中国建成区绿地率增长驱动力的时空差异分析[D]. 苏州:苏州科技大学,2016.[WANG Jundi. Research on the spatial-temporal differences of driving forces of green rate of built district growth in China[D]. Suzhou:Suzhou University of Science and Technology,2016.]

[25] 马淑燕,杨德刚,霍金炜,等. 和田地区人口与经济发展时空演变与分布差异研究[J]. 干旱区地理,2017,40(3):647 – 654.[MA Shuyan,YANG Degang,HUO Jinwei,et al. Space-time evolution and distribution disparities of population and economic development in Hotan Prefecture[J]. Arid Land Geography,2017,40(3):647 – 654.]

[26] 魏后凯. 中国地区间居民收入差异及其分解[J]. 经济研究,1996,(11):66 – 73.[WEI Houkai. Inter-regional resident income difference and its decomposition in China[J]. Economic Research Journal,1996,(11):66 – 73.]

[27] 李晓越,李同昇,龙冬平,等. 西北地区农民收入差异的时空演变及影响因素——以陕甘宁县域为例[J]. 干旱区地理,2014,37(3):620 – 629.[LI Xiaoyue,LI Tongsheng,LONG Dongping,et al. Spatial-temporal evolution and driving factors of rural resident's net income in northwestern China:A case study of counties in Shaanxi-Gansu-Ningxia region[J]. Arid Land Geography,2014,37(3):620 – 629.]

[28] 王钊,杨山. 多中心城市区域城市蔓延冷热点格局及演化——以苏锡常地区为例[J]. 经济地理,2015,35(7):59 – 65.[WANG Zhao,YANG Shan. Evolution of cold-hot spot pattern of polycentric urban areas urban sprawl:A case study of Suzhou-Wuxi-Changzhou area[J]. Economic Geography,2015,35(7):59 – 65.]

[29] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1):116 – 134.[WANG Jinfeng,XU Chengdong. Geodetector:Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica,2017,72(1):116 – 134.]

[30] 湛东升,张文忠,余建辉,等. 基于地理探测器的北京市居民宜居满意度影响机理[J]. 地理科学进展,2015,34(8):966 – 975.[ZHAN Dongsheng,ZHANG Wenzhong,YU Jianhui,et al. Analysis of influencing mechanism of residents' livability satisfaction in Beijing using geographical[J]. Progress in Geography,2015,34(8):966 – 975.]

[31] 刘小鹏,王可,叶均艳,等. 宁夏水贫困地域分异的 WPI-Geodetector 测度与分析[J]. 干旱区地理,2018,41(1):160 – 169.

[LIU Xiaopeng, WANG Ke, YE Junyan, et al. Measurement and analysis of spatial-temporal differentiation of water poverty in Ningxia based on WPI-Geodetector[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(1): 160 – 169.]

[32] 李秀霞,张希. 基于熵权法的城市化进程中土地生态安全研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9): 13 – 17. [LI Xiuxia, ZHANG Xi. The land ecological security in the process of urbanization based on entropy[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(9): 13 – 17.]

[33] 刘志强,李彤杉,王俊帝,等. 自然地理环境对城市建成区绿地率的综合作用研究[J]. 规划师, 2019, 35(8): 19 – 24. [LIU Zhiqiang, LI Tongshan, WANG Jundi, et al. Comprehensive effect of physical natural environment on green space rate of built district in China[J]. Planners, 2019, 35(8): 19 – 24.]

Spatiotemporal evolution of urban greening in China and the affecting factors between 2000 and 2017

LUO Zhan-fu, ZHANG Jin, LIU Ya-ting, ZHU Li-xiang

(*College of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou* 730070, *Gansu, China*)

Abstract: Urban greening has emerged as a major priority of urban development. It is a significant step in the process of realizing a sustainable urban civilization with ecological livability. Our research aimed to examine the current level of urban greening in China and provide scientific support for designing and constructing high-quality urban green spaces. We analyzed the spatiotemporal differentiation of urban greening, and the factors that influence it, by determining of coefficients of variation, Thile indices, EDSA, and geographical detectors. Our findings revealed that China's urban greening index was growing in fluctuations and showing stage-change characteristics: its growth rate increased to 6.73% in the study period of 2000 – 2017. While eastern China has consistently led the way in terms of urban greening, we found that the urban greening index of western China increased significantly, and this region surpassed the greening index of central China. China's overall inequality and regional disparity in terms of urban greening declined during the study period. The coefficient of variation decreased from 0.354 to 0.256, which reflected a reduction in the overall urban greening gap. The Theil index decreased from 0.132 to 0.071, the inter-regional inequality tended to expand, and the intra-regional inequality tended to narrow. These all reinforce the finding that the inter- and intra-regional inequalities were shrinking. Meanwhile, intra-regional inequality was the main contributor to overall inequality. The spatial distribution of urban greening changed greatly dramatically 2000 and 2017. High-level greening cities were mainly distributed in the eastern coastal areas of the Yangtze River Delta, Beijing-Tianjin-Hebei, and the Pearl River Delta; while low-level greening cities were clustered in Yunnan, Guizhou, and Gansu. General speaking, high-level greening cities were mainly located along the eastern coast, while areas with low-level greening were almost in line with plateau and mountain. The values of Moran's I for our dataset were greater than zero and the rangeability was small. The changes in the values illustrated that the urban greening level had positive correlation agglomeration characteristics in its spatial distribution. The spatial relationship of urban greening followed a trend of stabilization. Regions with large-scale and stable hotspots formed in the east, with a local hotspot and a large-scale and stable cold point formed in the west. These changes showed that the greening level increased from coastal to inland more significant than gradually decreased from east to west in China. Finally, natural factors, such as precipitation, were a foundational influence on urban greening level. Economic development and government management were key metrics at different stages, and each was a driving factor that promoted the spatial evolution of urban greening in its respective period.

Key words: urban greening level; spatial-temporal evolution; influence factor; China